

# 实验6 晶体管共射极放大电路 (P283~288)

---

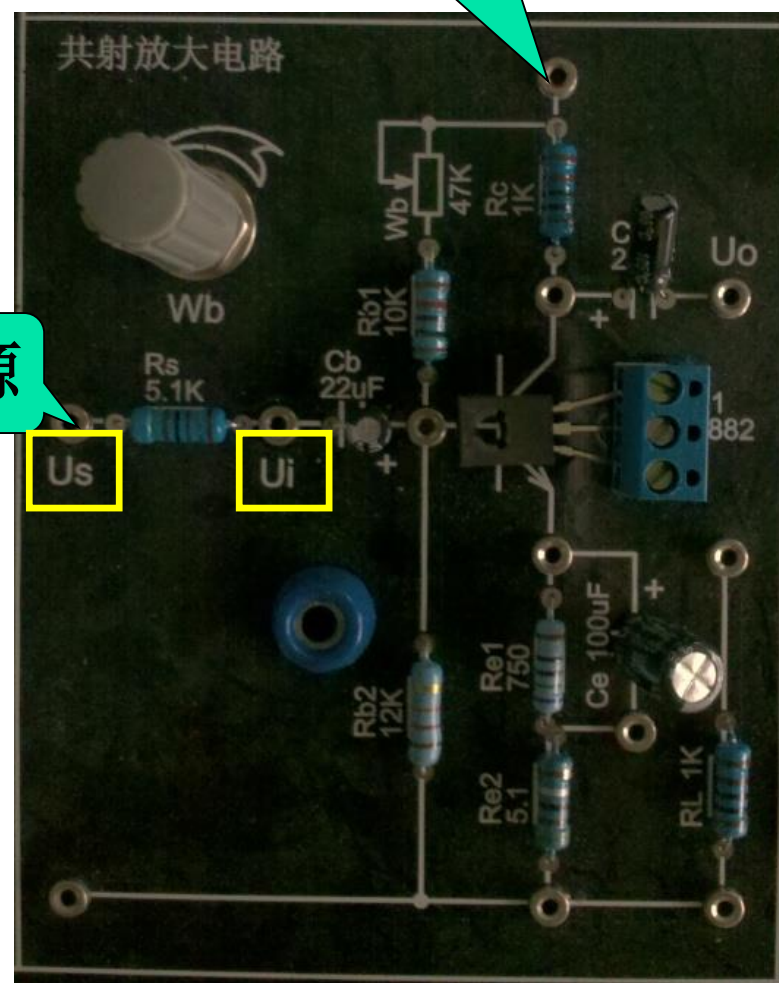
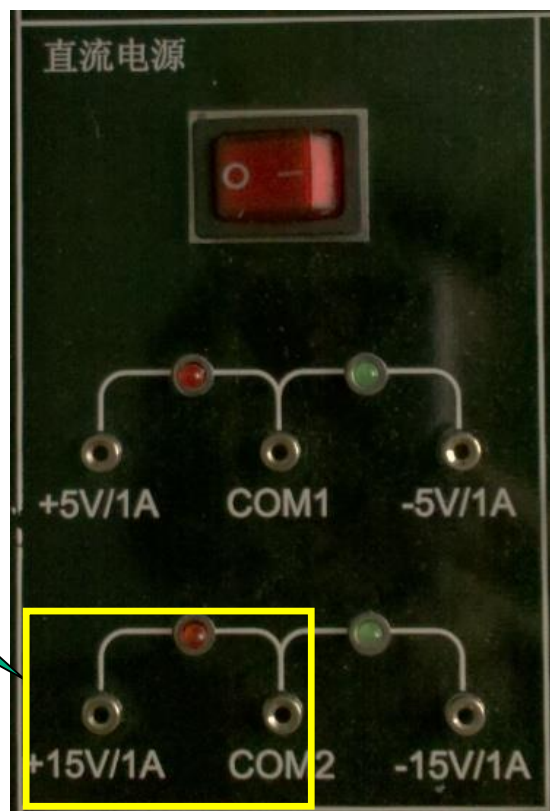
## 一、实验目的

---

1. 学习共射放大电路的设计方法与调试技术;
2. 掌握放大器静态工作点的测量与调整方法, 了解在不同偏置条件下静态工作点对放大器性能的影响;
3. 学习放大电路的电压放大倍数、输入电阻、输出电阻及频率特性等性能指标的测试方法;
4. 了解静态工作点与输出波形失真的关系, 掌握最大不失真输出电压的测量方法;
5. 进一步熟悉示波器、函数信号发生器的使用。

## 二、实验器材

- 示波器、信号发生器、万用表
- 共射电路实验板



### 三、实验准备：

---

阅读实验说明部分内容。**P.283-287**

使用**Multisim**软件对电路进行仿真。

## 三、实验准备：

---

### 仿真分析方法：

直流工作点分析（DC Operating Point Analysis）：仿真静态工作点。

直流扫描分析（DC Sweep Analysis）：仿真某个电源器件电压或电流发生变化时，其它电压或电流（视为输出）的变化情况。可设置扫描源的初值（Start value）、终值（Stop value）和扫描步长（Increment）。

交流分析(AC Analysis)：仿真电压放大倍数和频率特性。

瞬态分析(Transient Analysis)：仿真放大电路的输入波形和输出波形。

参数扫描（Parameter Sweep）：通过改变电路中某个元件的参数，得到电路的总体响应。

温度扫描分析（Temperature Sweep Analysis）：通过改变电路中元件的温度值，根据元件数据库中各种元件的温度模型，模拟各种元件在不同温度下的参数改变与对电路的影响。

请自行通过查找资料等方式学习并掌握。

### 三、实验准备：

---

#### 仿真分析内容：

- (1) 实验电路（共射极放大电路）静态工作点的仿真。
- (2) 电压放大倍数和频率特性的仿真（不同负载时）。
- (3) 放大电路输出波形的仿真分析。
- (4) 电压传输特性和最大不失真输出电压的仿真以及饱和失真和截止失真的仿真。

以上仿真的具体内容和要求与具体实验的内容和要求一致。

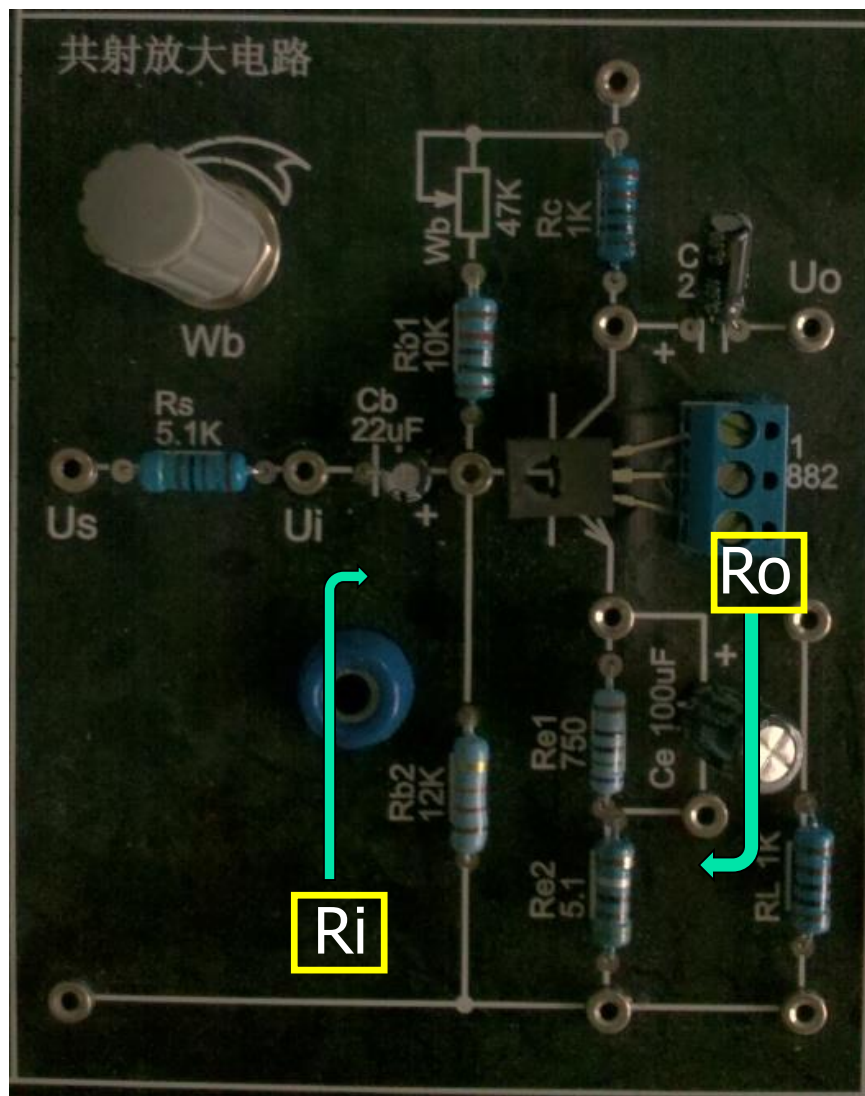
## 四、实验电路及理论分析

## (1) 共射电路实验板

### 输入、输出电阻:

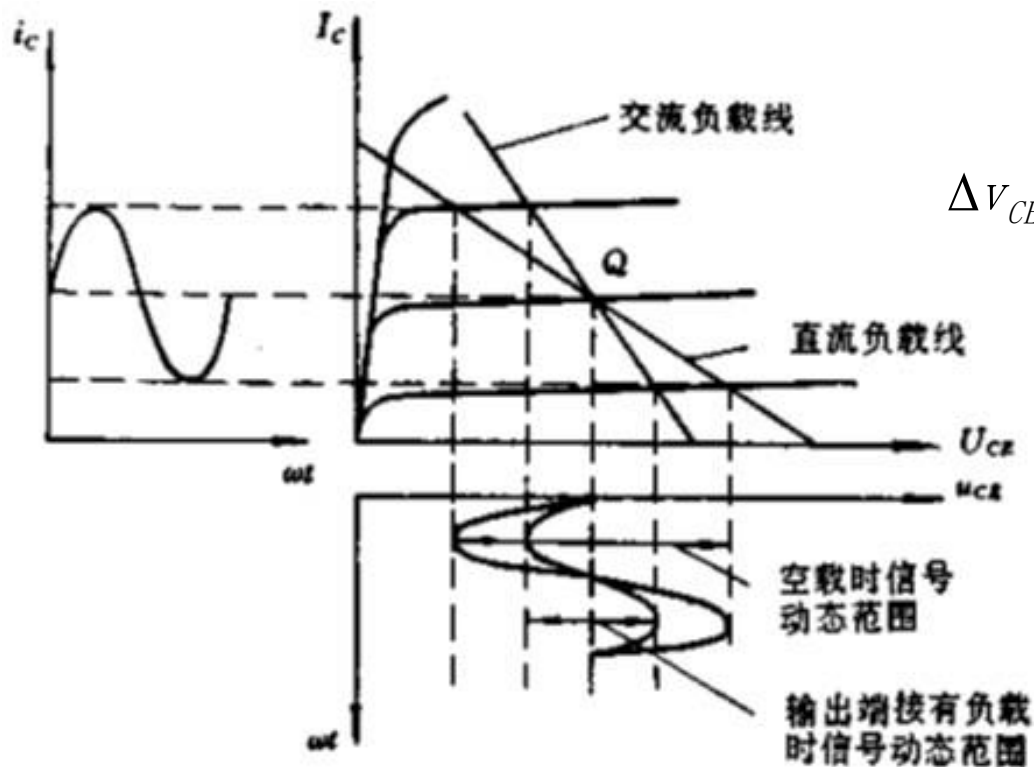
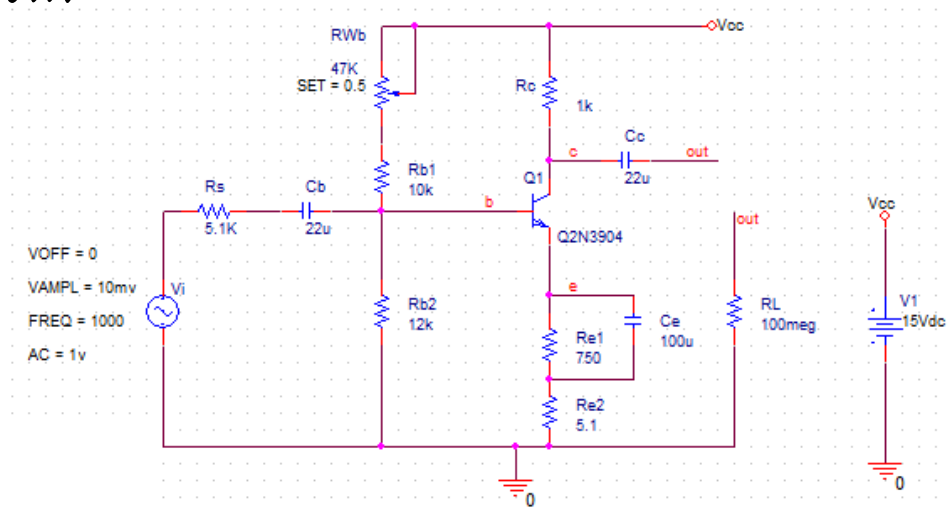
$$R_i = \frac{U_i}{U_s - U_i} R_s$$

$$R_o = (\frac{U_o'}{U_0} - 1)R_L$$



## (2) 最佳静态工作点

要使放大电路不失真地放大，静态工作点必须选择合适。



$$\Delta V_{CE} = -\Delta i_C \cdot R_L' = -\Delta i_C \cdot (R_C // R_L)$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_C + R_{e1} + R_{e2})$$

图1 放大器最佳静态工作点



## (2) 最佳静态工作点确定

---

要使放大器不失真地放大，工作点必须选择合适。初选静态工作点时，可以选取直流负载线的中点，

$$\text{即 } V_{CE} = 1/2 \times V_{CC} \text{ 或 } I_C = 1/2 \times V_{CC}/R_C。$$

这样便可获得较大输出动态范围。当放大器输出端接有负载 $R_L$ 时，因交流负载线比直流负载线要陡，所以放大器动态范围要变小，如图1所示。当发射极接有电阻时，也会使信号动态范围变小。要得到最佳静态工作点，还要通过调试来确定，一般用调节偏置电阻 $R_{wb}$ 的方法来调整静态工作点。

### (3) 相关参数理论计算

在电路中静态工作点为：

$$V_B = \frac{R_{b2}}{R_{B1} + R_{b2}} V_{CC}$$

$$I_C \approx I_E = \frac{V_B - V_{BE}}{R_{e1} + R_{e2}} = \frac{V_E}{R_{e1} + R_{e2}}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_c + R_{e1} + R_{e2})$$

动态参数：

电压放大倍数

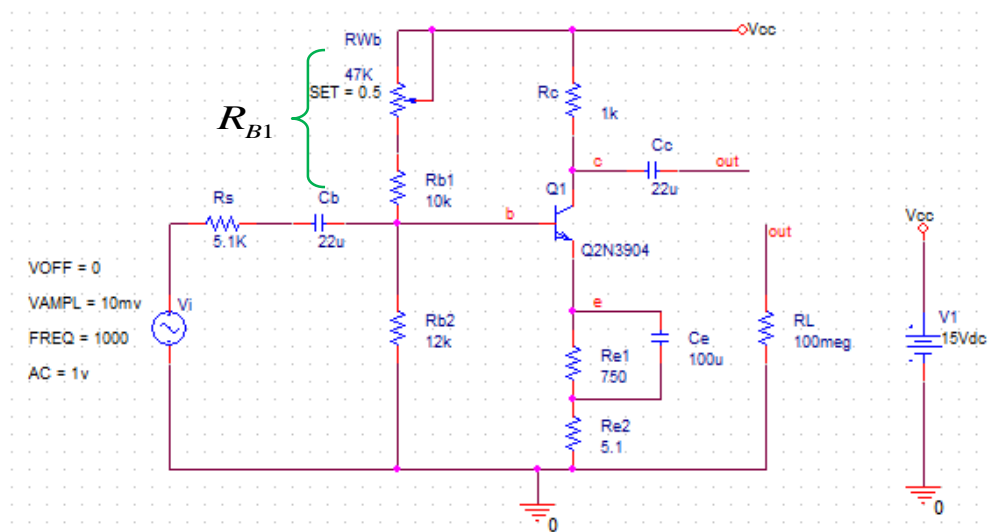
其中：

$$A_u = - \frac{(R_L // R_C) \beta}{r_{be} + (1 + \beta) R_{e2}}$$

$$\text{其中： } r_{be} = 200 + (1 + \beta) \frac{26(\text{mV})}{I_E(\text{mA})}$$

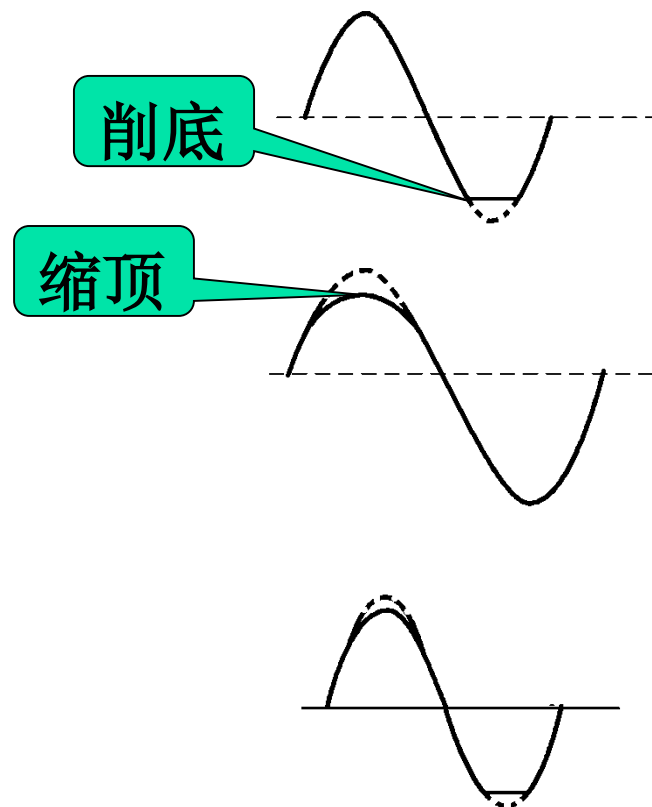
输入电阻、输出电阻

最大不失真输出电压

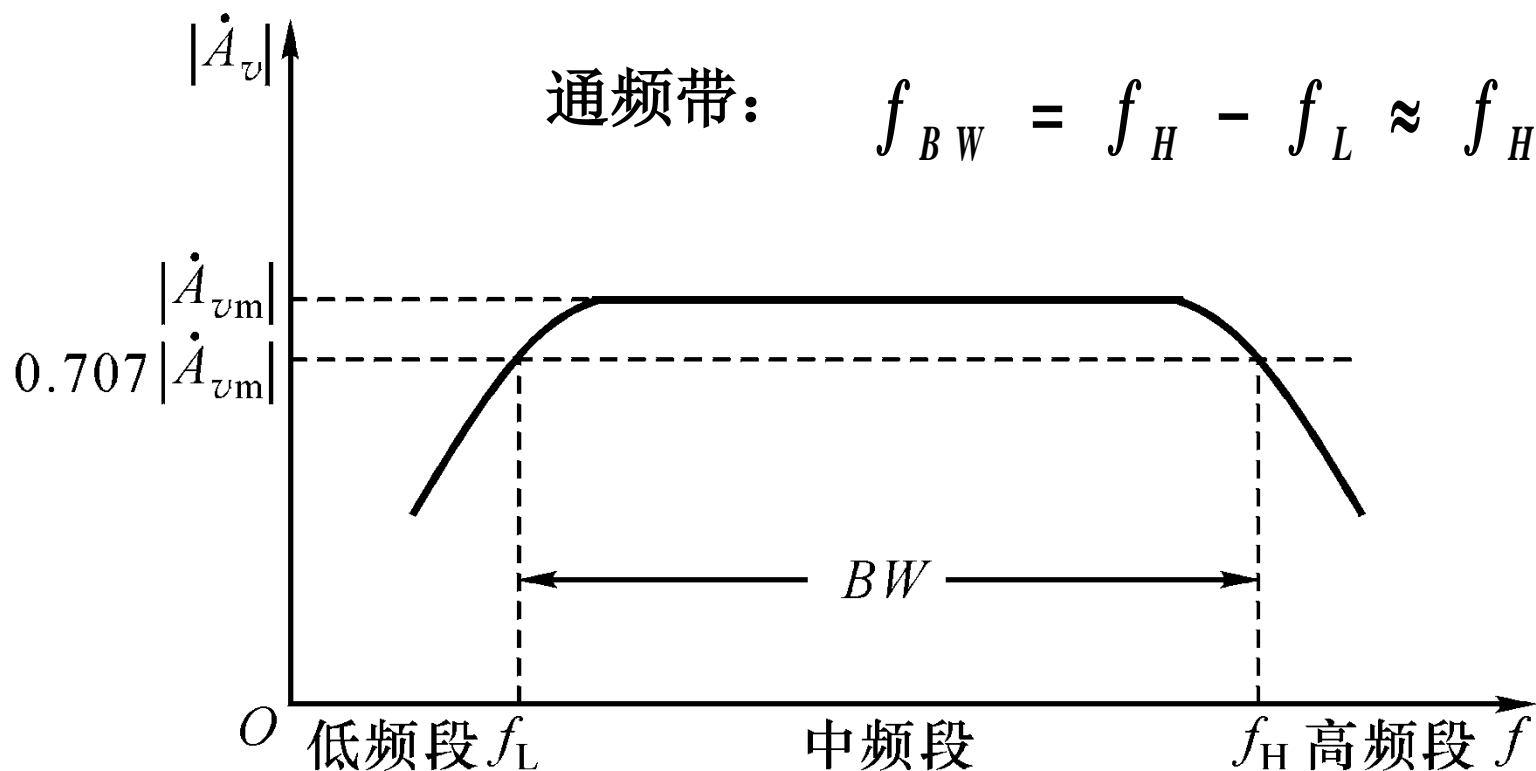


## (4) 静态工作点对输出电压波形的影响

- 1)  $I_{CQ} \uparrow$ ,  $v_o$  出现饱和失真, 形状为“削底”失真。
- 2)  $I_{CQ} \downarrow$ ,  $v_o$  出现截止失真, 形状为“缩顶”失真。
- 3)  $I_{CQ}$  正常, 当加大输入信号时,  $v_o$  同时出现饱和与截止失真。



## (5) 频率特性（上下限频率）



放大电路的放大倍数下降到中频段的0.707倍（即-3dB）所对应的频率，分别称为上限频率 $f_H$ 和下限频率 $f_L$ 。

## 五、实验内容

---

1. 静态工作点的测量与调整
2. 测量电压放大倍数
3. 测量输入电阻
4. 测量输出电阻
5. 测量上限频率和下限频率
6. 研究静态工作点对输出波形的影响
7. 测量最大不失真输出电压（选做）

# 1.静态工作点的测量和调试

## 实验步骤:

- (1) 按所设计的放大器的元件连接电路，根据电路原理图仔细检查电路的完整性。
- (2) 开启直流稳压电源，用万用表检测15V工作电压，确认后，关闭电源。
- (3) 将放大器电路板的工作电源端与15V直流稳压电源接通。然后，开启电源。此时，放大器处于工作状态。
- (4) 调节偏置电位器，使放大电路的静态工作点满足设计要求 $I_{CQ} = 6\text{mA}$ 。**方法一**：测量 $I_{CQ}$ 时，一般采用测量电阻 $R_C$ 两端的压降 $V_{R_C}$ （当测量仪器的内阻足够大时），然后根据 $I_{CQ} = V_{R_C} / R_C$ 计算出 $I_{CQ}$ 。**方法二**：当 $I_{CQ} = 6\text{mA}$ 时， $V_C = V_{CC} - R_C I_{CQ}$ 。
- (5) 测量晶体管共射极放大电路的静态工作点，并将测量值、仿真值、理论估算值记录在下表中进行比较。

# 1.静态工作点的测量和调试

实验数据记录:

	$V_B(V)$	$V_E(V)$	$V_C(V)$	$I_{CQ}(mA)$
理论值				
仿真值				
实测值				

预习要求:

- 1) 实验前先填好理论值和仿真值（后面的表格也一样）。
- 2) 估算理论值时 $\beta$ 取150， $r_{bb'}$ 取200  $\Omega$ 。
- 3) 输入电阻按仿真电路图的参数计算。

# 1.静态工作点的测量和调试

---

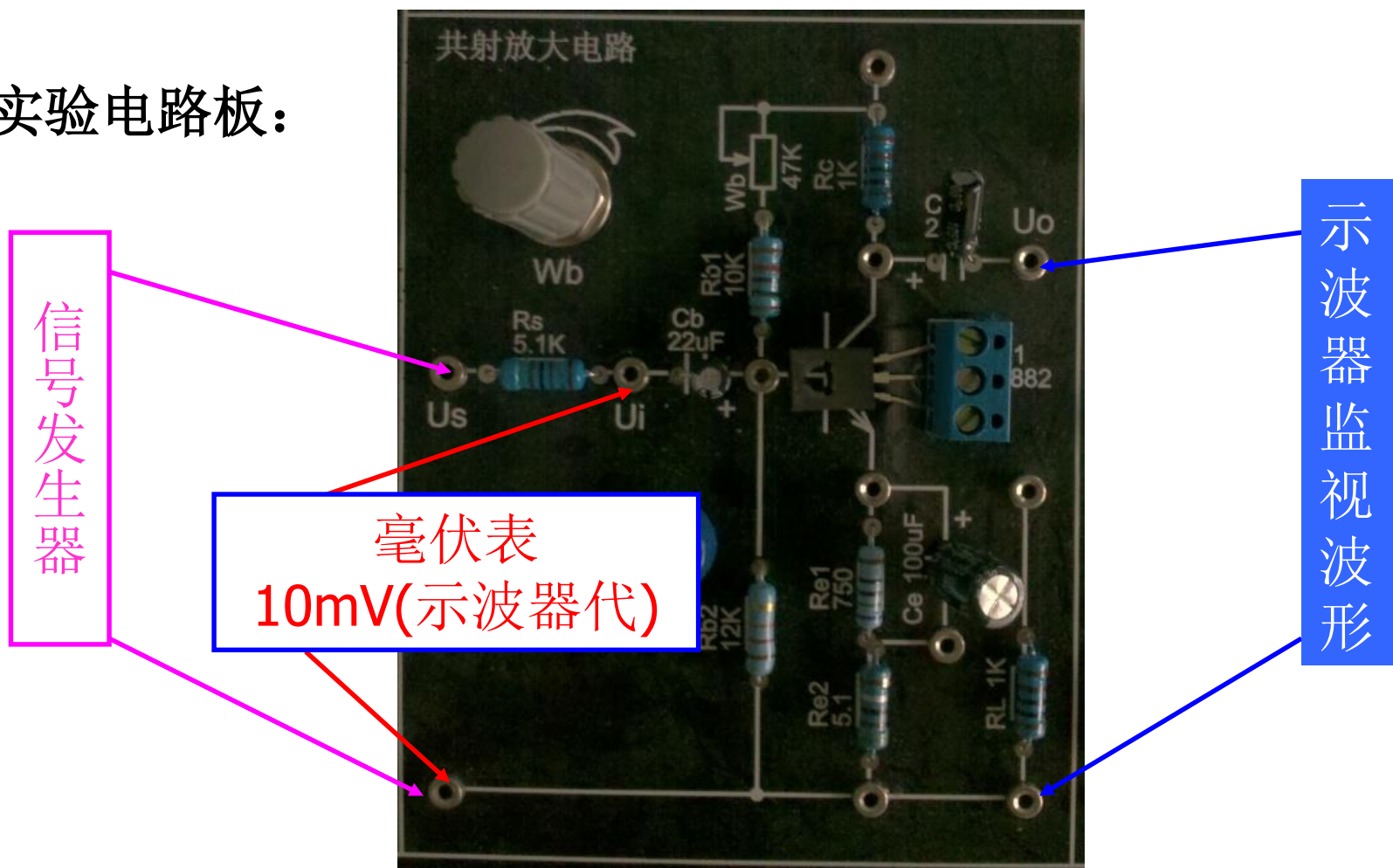
实验注意事项:

- 1) 连电源前, 必须先确认稳压电源的电压和端子。
- 2) 连接电源线和地线时, 必须先关闭电源。不能带电操作。
- 3) 检查电路板上有没有三极管。
- 4) 测  $I_{CQ}$ : 直接测电流不方便, 一般通过测电压来换算出电流 (间接测量)。
- 5) 若无法调整静态工作点, 检查三极管工作状态。若  $V_{CE} < 0.5V$ , 三极管已饱和。若  $V_{CE} \approx +V_{CC}$ , 三极管已截止。若  $V_{BE} > 2V$ , 三极管已被击穿。
- 6) 要考虑到万用表直流电压档内阻对被测电路的影响。
- 7) 为了防止当电位器阻值过小时, 使IC过大烧坏管子, 应用一只固定电阻与电位器串联。

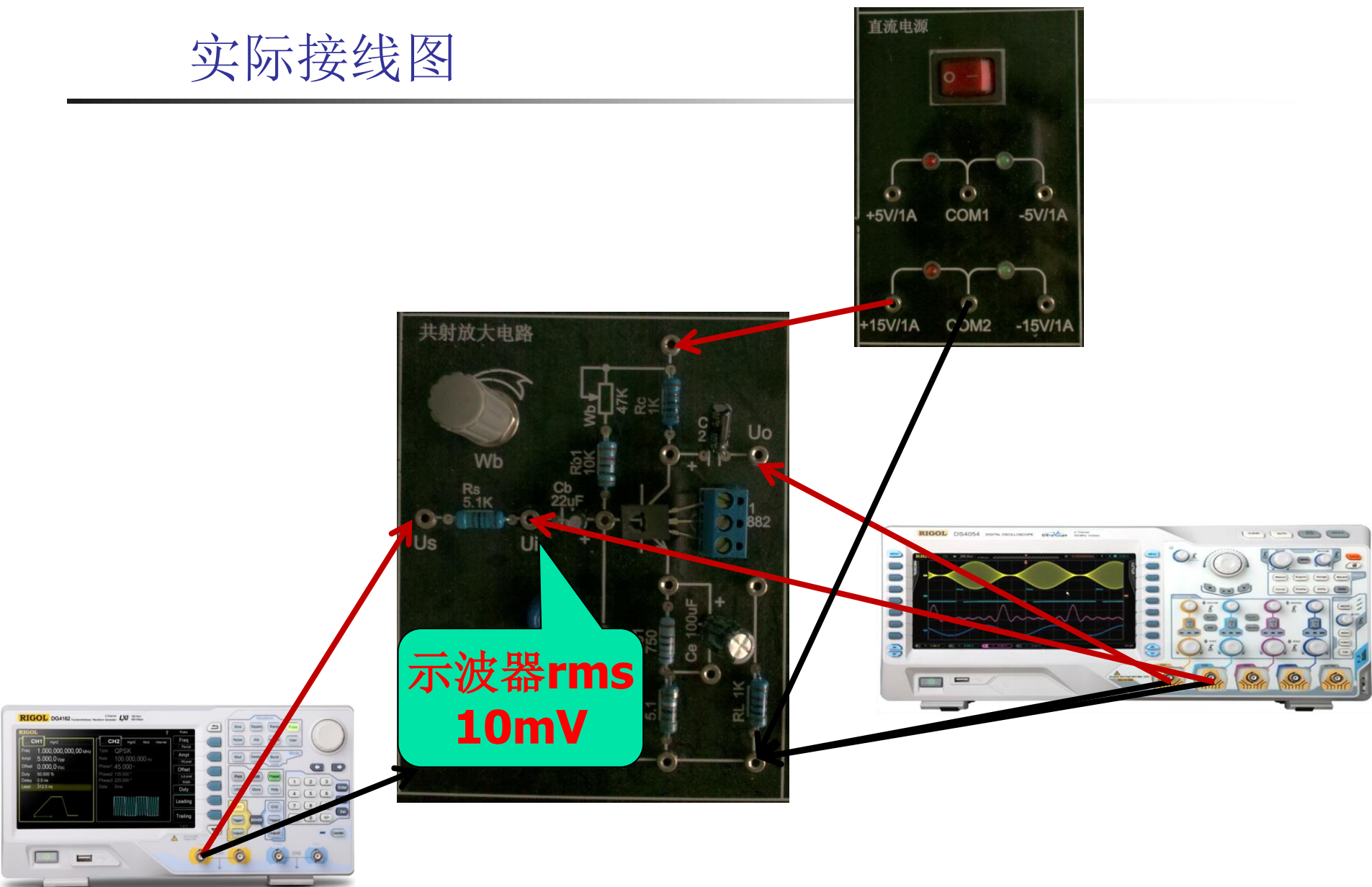


## 2. 测量电压放大倍数 ( $R_L=\infty$ 、 $R_L=1\text{ k}\Omega$ )

实验电路板:



# 实际接线图



## 2. 测量电压放大倍数 ( $R_L=\infty$ 、 $R_L=1\text{ k}\Omega$ )

---

实验步骤:

- 1) 从函数信号发生器输出1kHz的正弦波，加到电路板上的 $U_s$ 端。
- 2) 用示波器检查放大电路输出端是否有放大的正弦波且无失真。
- 3) 用示波器测量输入 $U_i$  电压，调节函数信号发生器幅度，使电路输入 $U_i=10\text{mV}$ (有效值)。
- 4) 负载开路，用示波器测出输出电压 $U_o$ 有效值，求出开路放大倍数。
- 5) 负载接上 $1\text{k}\Omega$ ，再次测 $U_o$ ，求出带载放大倍数。

## 2. 测量电压放大倍数 ( $R_L=\infty$ 、 $R_L=1\text{ k}\Omega$ )

实验数据记录:

测试条件	实测值（有效值）				理论值	仿真值
	$V_s$ (mV)	$V_i$ (mV)	$V_o$ (V)	$A_v$	$A_v$	$A_v$
$R_L=\infty$						
$R_L=1\text{k}$						

---

## 实验注意事项：

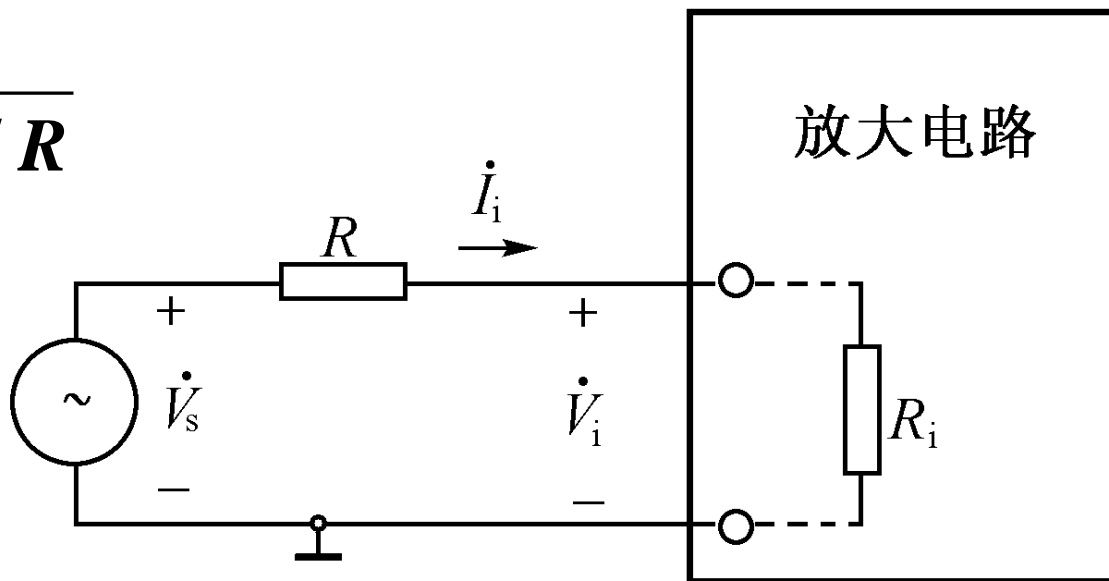
- 1) 必须保持放大电路的静态工作点不变！
- 2) 应先用示波器确认信号发生器输出是正弦波，然后再加入到放大电路。
- 3) 在测量放大倍数前，应先用示波器检查放大电路能正常工作（输出端为正弦波，且无失真）。
- 4) 如果函数信号发生器能输出10mV有效值的正弦波，也可以直接加入到电路的 $U_i$  端。

### 3. 测量输入电阻 $R_i$ ( $R_L=1\text{ k}\Omega$ )

#### 测量原理:

放大电路的输入电阻可用电阻分压法来测量，图中 $R$ 为已知阻值的外接电阻，分别测出 $V_s$ 和 $V_i$ ，则

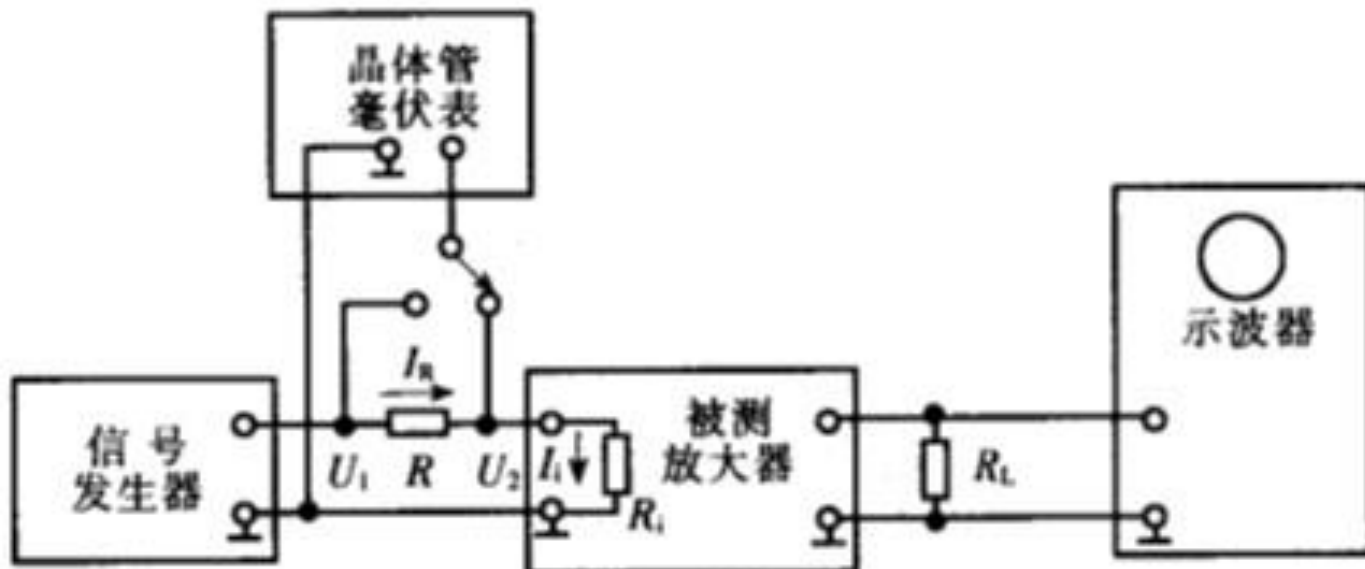
$$\begin{aligned} R_i &= \frac{V_i}{I_i} = \frac{V_i}{(V_s - V_i) / R} \\ &= \frac{V_i}{V_s - V_i} R \end{aligned}$$



### 3. 测量输入电阻 $R_i$ ( $R_L=1\text{ k}\Omega$ )

实验步骤:

- 1) 从函数信号发生器输出正弦波（幅度和频率?），加到电路板上的 $U_s$ 端。
- 2) 用示波器测出 $U_s$  和  $U_i$  电压。
- 3) 求出输入电阻。



### 3. 测量输入电阻 $R_i$ ( $R_L=1k\Omega$ )

实验数据记录：

输入电阻（实测值）			理论值	仿真值
$V_s$ (mV)	$V_i$ (mV)	$R_i$	$R_i$	$R_i$

注：输入电阻理论值与电位器位置有关，按仿真电路图所设定的阻值估算输入电阻理论值。



## 4. 测量输入电阻 $R_i$ ( $R_L=1\text{ k}\Omega$ )

---

### 实验注意事项:

- 1) 保持放大电路的静态工作点不变!
- 2) 用示波器监视输出波形。
- 3) 输入电阻与是否带载无关，因此测量时可以带载也可以开路。

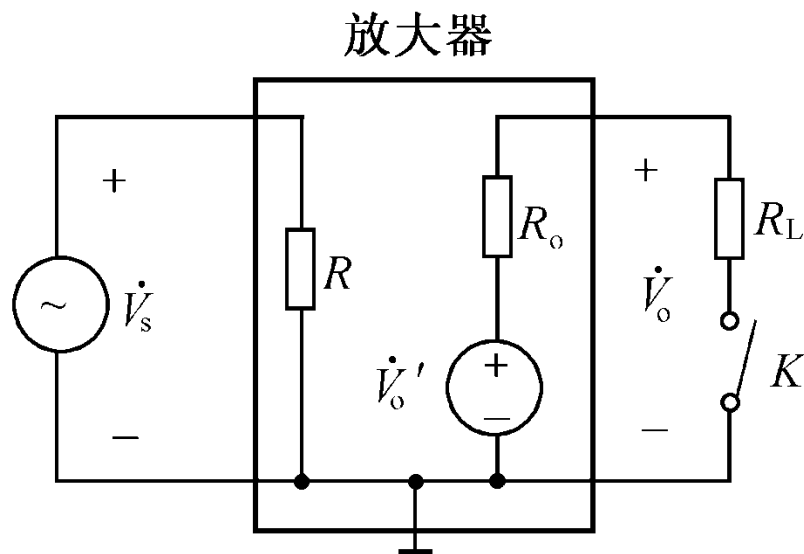
## 4. 测量输出电阻 $R_o$

测量原理：

放大电路的输出电阻可用增益改变法来测量，保持信号源幅度不变，分别测出负载开路时的输出电压 $V_o'$ 和带上负载 $R_L$ 后的输出电压 $V_o$ ，则

$$V_o = \frac{R_L}{R_o + R_L} V_o'$$

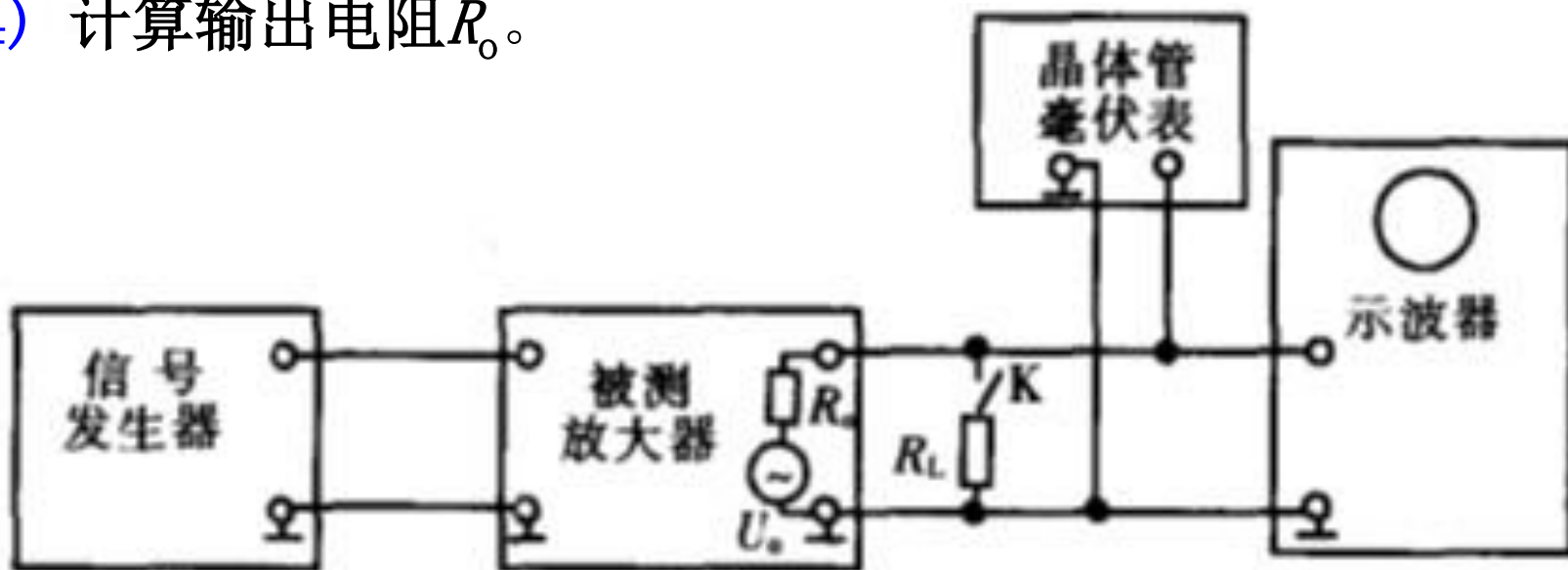
$$R_o = \left( \frac{V_o'}{V_o} - 1 \right) R_L$$



## 4. 测量输出电阻 $R_o$

实验步骤:

- 1) 从函数信号发生器输出正弦波（幅度和频率?），加到共射放大电路的输入端。
- 2) 断开负载，用示波器测出输出电压 $V_o'$ 。
- 3) 接上负载，用示波器测出输出电压 $V_o$ 。
- 4) 计算输出电阻 $R_o$ 。



## 4. 测量输出电阻 $R_o$

实验数据记录：

输出电阻（实测值）			理论值	仿真值
$V_o'$ (V)	$V_o$ (V)	$R_o$	$R_o$	$R_o$

实验注意事项：

- 1) 保持放大电路的静态工作点不变！
- 2) 用示波器监视输出波形。

## 5. 测量上限频率和下限频率 ( $R_L=\infty$ 、 $R_L=1\text{ k}\Omega$ )

---

实验步骤:

- 1) 从函数信号发生器输出1kHz的正弦波，加到放大电路输入端。
- 2) 用交流毫伏表测输出电压，调节输入信号幅度，使输出  $V_o=1\text{V}$ 。（取1V有什么好处？）
- 3) 保持输入信号幅度不变，降低信号频率，使输出幅度下降至  $0.707 V_o$  时（用什么测？）得到下限频率  $f_L$ 。
- 4) 保持输入信号幅度不变，增大信号频率，使输出幅度下降至  $0.707 V_o$  时得到上限频率  $f_H$ 。

# 5. 测量上限频率和下限频率 ( $R_L=\infty$ 、 $R_L=1k\Omega$ )

实验数据记录：

测试条件	实测值		理论值		仿真值	
	$f_L$	$f_H$	$f_L$	$f_H$	$f_L$	$f_H$
$R_L=\infty$			/	/		
$R_L=1k$			/	/		

## 5. 测量上限频率和下限频率 ( $R_L=\infty$ 、 $R_L=1\text{ k}\Omega$ )

---

### 实验注意事项:

- 1) 保持放大电路的静态工作点不变!
- 2) 用示波器监视输出波形。
- 3) 需要分别测出  $R_L=\infty$ 、 $R_L=1\text{ k}\Omega$  两种情况下的频率特性。
- 4) 调整频率时，需要从中频段开始减小（测下限频率），或从中频段开始增大（测上限频率）。
- 5) 在调频率过程中，输出电压可能会出现增大，这是正常的现象（超调）。

## 6. 研究静态工作点对输出波形的影响 ( $R_L=\infty$ )

实验步骤:

- 1) 负载开路, 输入1kHz、幅度合适的正弦信号, 用示波器监视输出电压。
- 2) 调节电位器 $R_{wb}$ , 使静态电流 $I_{CQ}$ 增大到足够大(如8.0mA), 测量并记录集电极静态电流。(  $I_{CQ}$ 用什么测? 如何测? )
- 3) 逐渐增大输入信号, 使输出波形出现明显的失真。记录此时的示波器波形, 测量刚出现失真时的最大不失真输出电压。
- 4) 减小输入信号, 使电路回到正常的放大状态(输出电压无失真)。
- 5) 调节电位器 $R_{wb}$ , 使静态电流 $I_{CQ}$ 下降到足够小(如1.0mA), 测量并记录集电极静态电流。
- 6) 逐渐增大输入信号, 使输出波形出现明显的失真。记录此时的示波器波形, 测量刚出现失真时的最大不失真输出电压。



## 6. 研究静态工作点对输出波形的影响 ( $R_L=\infty$ )

实验数据记录:

$I_{CQ}$	先出现	$V_{omax}$	正/负半周	形状

注：表中“先出现”列填写“饱和失真”还是“截止失真”；“形状”列填写“削底失真”还是“缩顶失真”。

**实验报告要求：**根据上述两种情况下所观察到的波形，结合仿真结果，说明集电极偏置电流的大小对放大电路输出失真的影响。

## 7. 测量最大不失真输出电压 ( $R_L=\infty$ 、 $R_L=1\text{ k}\Omega$ )

### (选做)

### 实验步骤:

- 1) 负载开路, 逐渐增大输入信号幅度, 直至**输出刚出现失真**。
- 2) 用示波器测出此时的输出电压有效值, 即为最大不失真输出电压  $V_{\text{omax}}$ 。
- 3) 负载接上  $1\text{ k}\Omega$ , 再次测  $V_{\text{omax}}$ 。

# 7. 测量最大不失真输出电压 ( $R_L=\infty$ 、 $R_L=1\text{ k}\Omega$ )

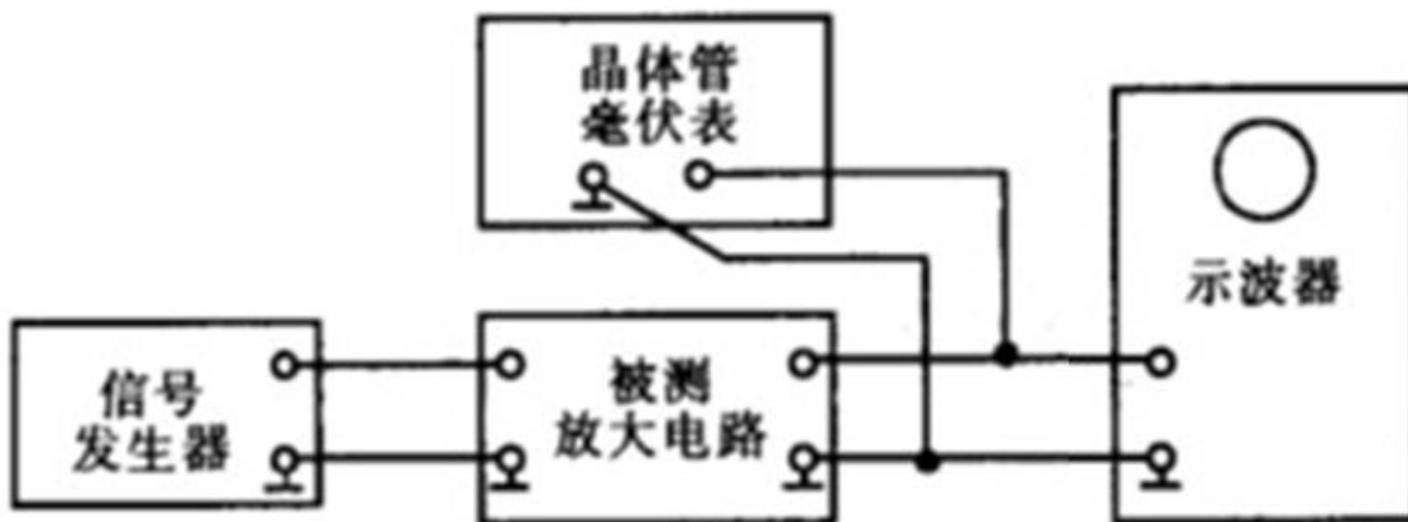
实验数据记录:

测试条件	实测值		理论值	仿真值
	$V_{\text{omax}}$ (有效值)	$V_{\text{omax}}$ (峰值)	$V_{\text{omax}}$ (峰值)	$V_{\text{omax}}$ (峰值)
$R_L=\infty$				
$R_L=1\text{k}$				

## 7. 测量最大不失真输出电压 ( $R_L=\infty$ 、 $R_L=1\text{ k}\Omega$ )

实验注意事项:

- 1) 用示波器监视输出波形。
- 2) 是否出现失真的判断, 通常以饱和失真为准(当饱和失真幅度与截止失真幅度差不多时), 但若截止失真明显, 则以截止失真为准。



## 六、实验报告

---

第一部分：仿真结果与具体实验验证

第二部分：问题与讨论

- (1) 试分析电路中的 $R_{e2}$ 、 $R_{b1}$ 、 $C_b$ 起什么作用？
- (2) 当静态工作电流 $I_{CQ}$ 通过测量 $V_E$ 或 $V_C$ 来间接地得到时，分析万用表内阻对测量误差的影响。
- (3) 各仪器的接地端不再连在一起，示波器上的波形将发生什么变化？
- (4) 在测试各项参数时，为什么要用示波器监视输出波形不失真？
- (5) 与负载开路相比，接上负载对放大电路的上下限频率有什么影响？在测上限和下限频率时，如何选择输入信号的大小？为什么使输出电压为1V？
- (6) 用示波器同时观察放大电路输入、输出波形的相位关系时，示波器上有关按钮应置什么位置？

## 六、实验报告

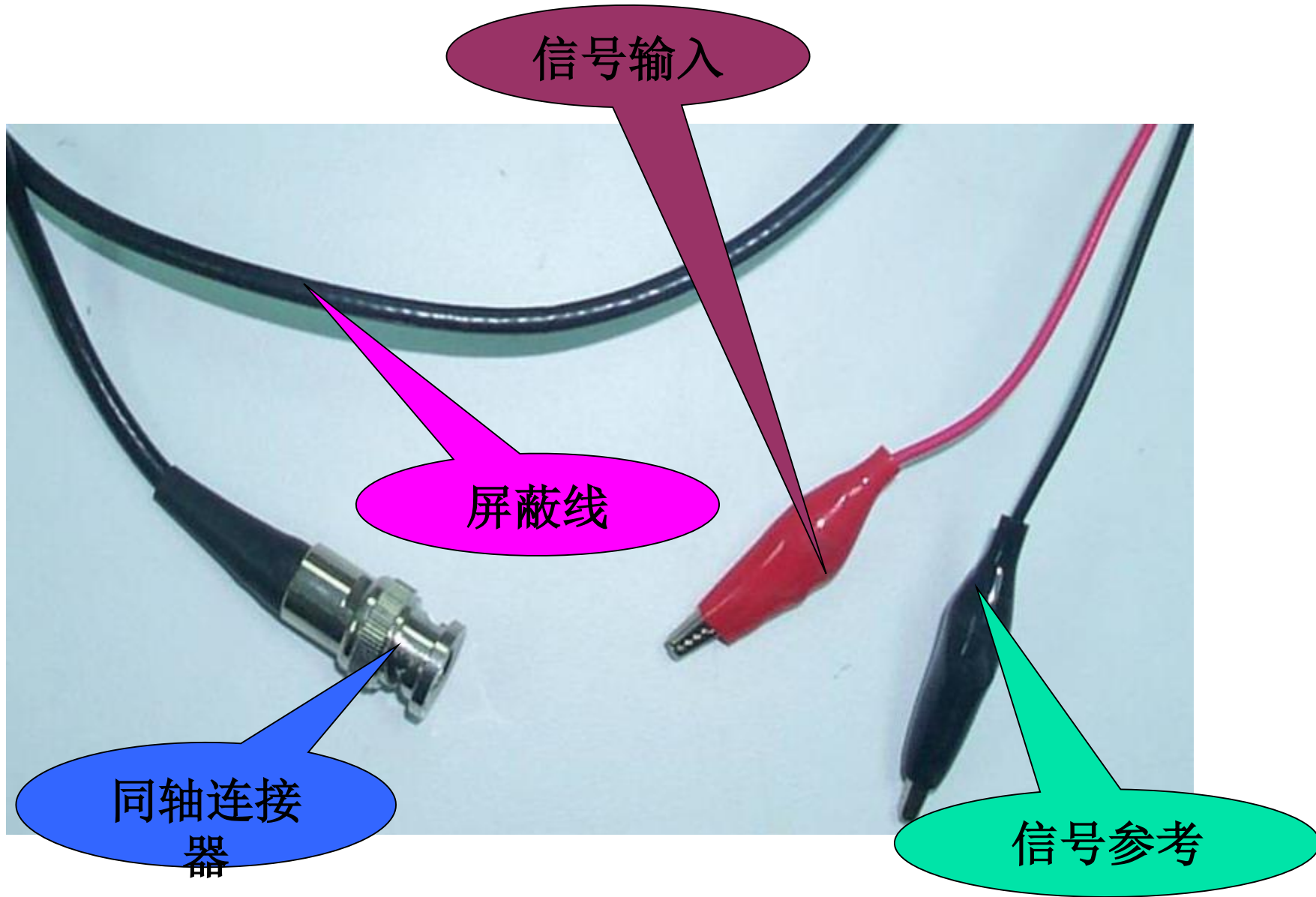
(7) 在测量输入电阻时，为什么不能直接测 $R_s$ 两端的压降？

(8) 如何判断放大器的截止和饱和失真？当出现这些失真时应如何调整静态工作点？

(9) 在共射放大电路的静态工作点测量时，测得 $V_{CEQ} < 0.5V$ ，说明三极管已处于\_\_\_\_\_状态；若 $V_{CEQ} \approx +V_{CC}$ （电源电压），则说明三极管已处于\_\_\_\_\_状态；若 $V_{BEQ} > 2V$ ，估计该晶体管已被\_\_\_\_\_。

(10) 共射电路实验中所用的耦合电容是\_\_\_\_\_（哪一种类）电容。在共射放大电路实验我们选用的D882是NPN管对吗？描述怎样从外观判别e、b、c三个管脚。

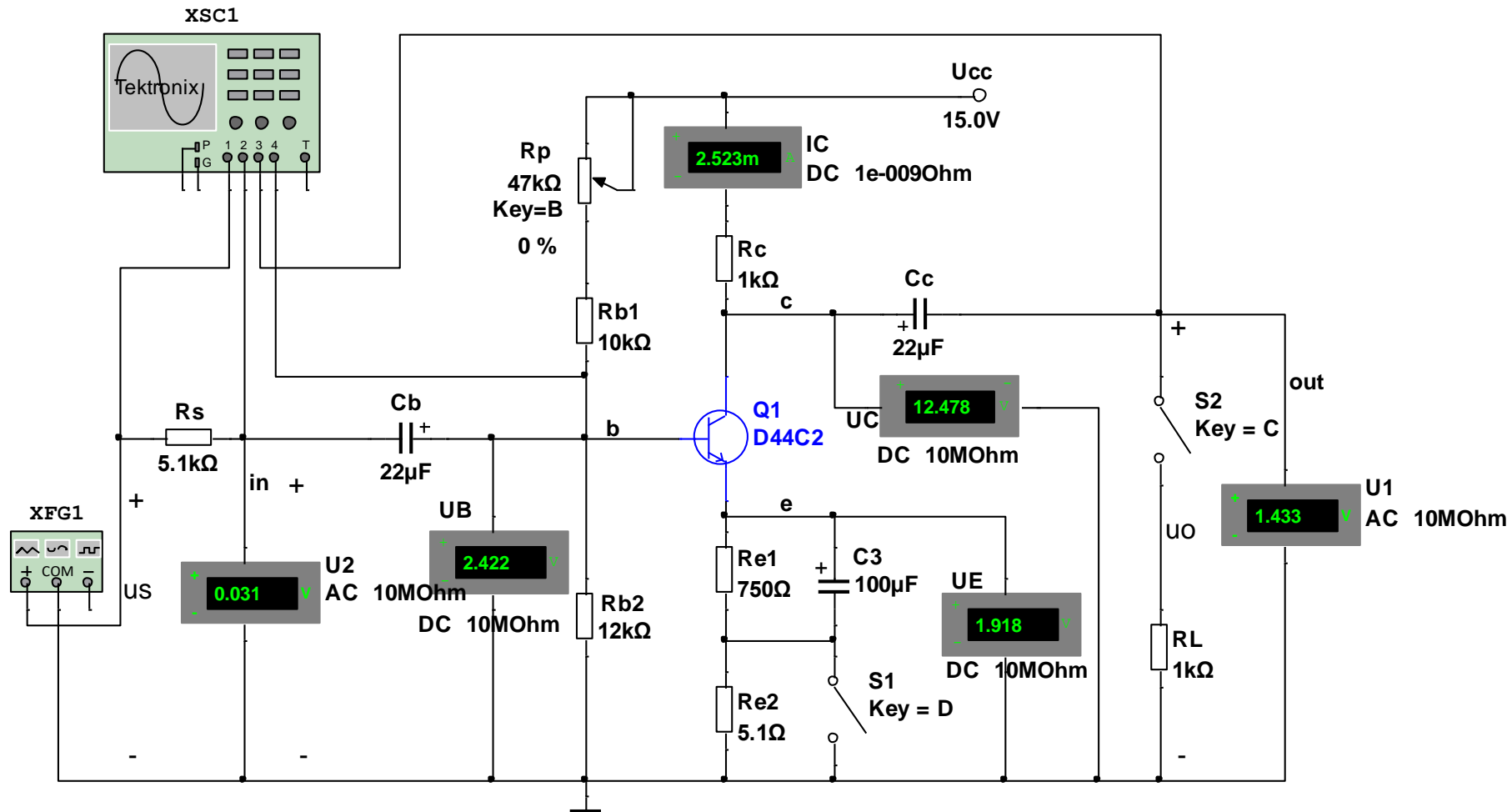
## 附录--测量线



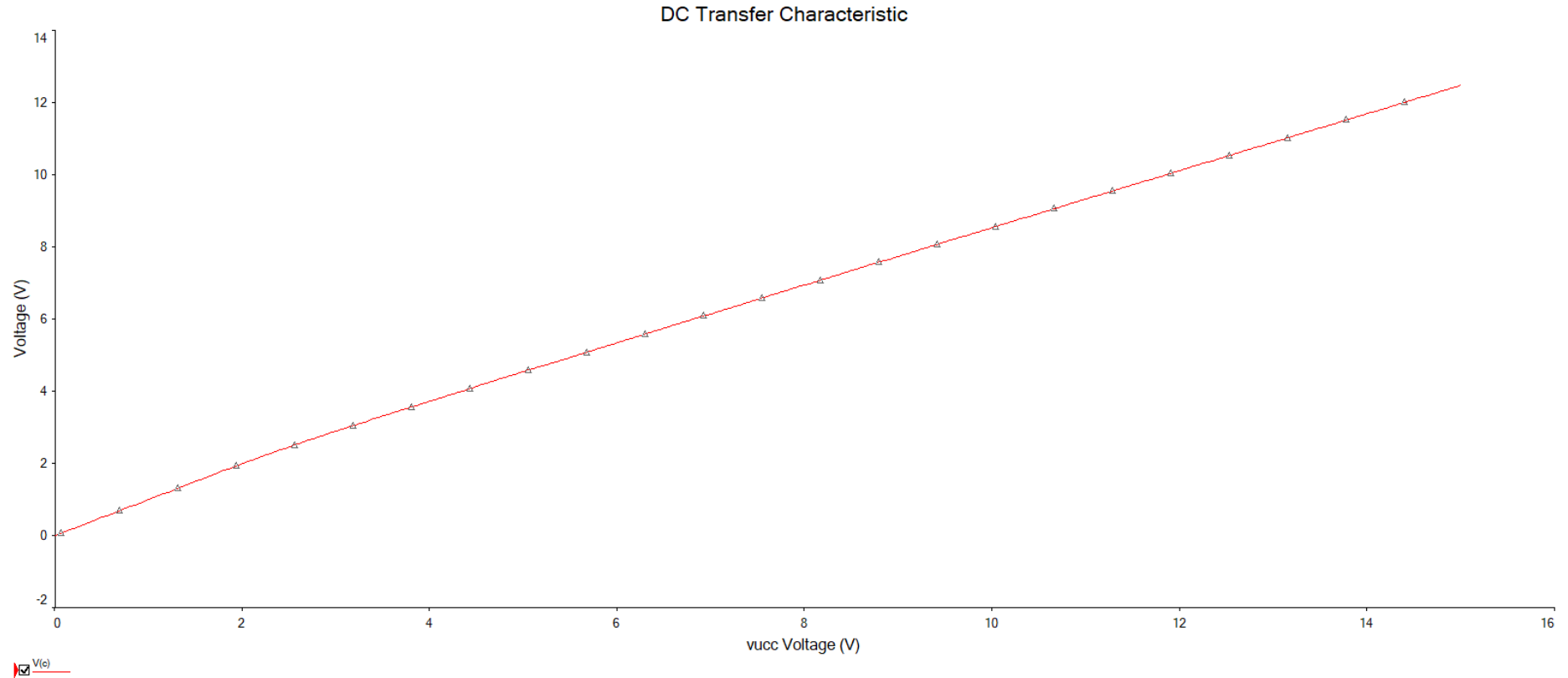
# 电源



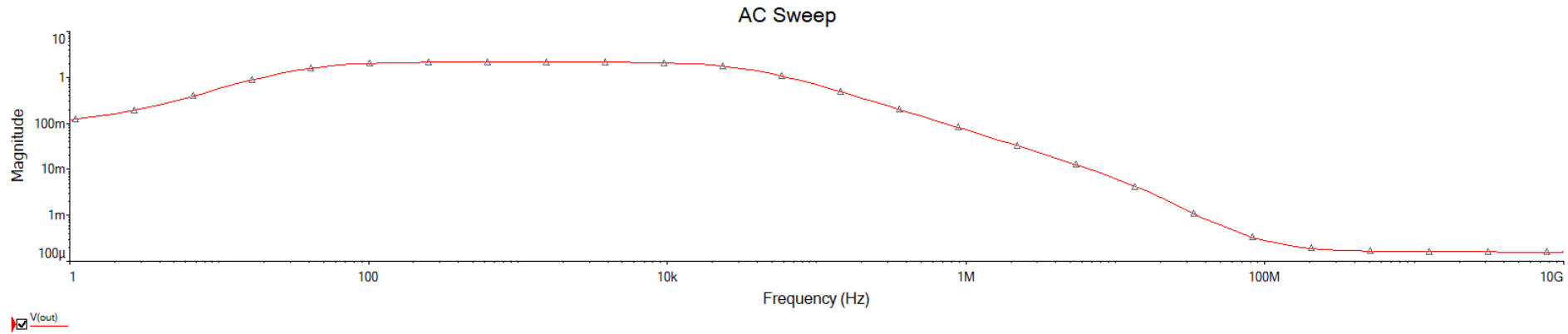




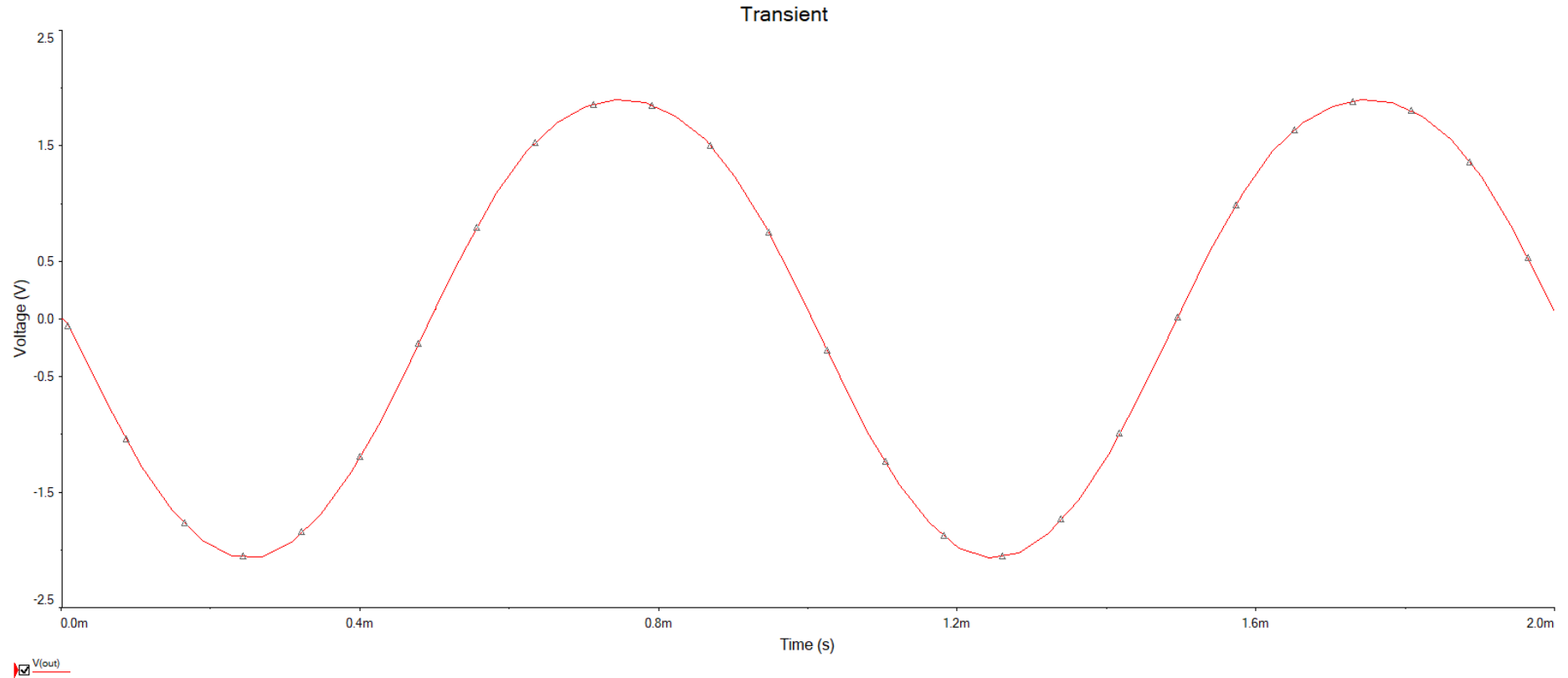
# DC Sweep



# AC Sweep



# Transient



---

## 下次实验：扩音机电路实验

注意：

下次上课前焊接好板子，时间根据实验室门口的通知自行安排。

实验课时进行调试。